

INSTITUTO FEDERAL DE MINAS GERAIS
CAMPUS SÃO JOÃO EVANGELISTA
ALTIERES MARTINS LOURENÇO

FITORREMEDIAÇÃO DE SOLO CONTAMINADO COM PICLORAM
UTILIZANDO EM COMUNIDADE *Crotalaria spectabilis*, *Mucuna pruriens* e
Avena strigosa

SÃO JOÃO EVANGELISTA
2018

ALTIERES MARTINS LOURENÇO

**FITORREMEDIAÇÃO DE SOLO CONTAMINADO COM PICLORAM
UTILIZANDO EM COMUNIDADE *Crotalaria spectabilis*, *Mucuna pruriens* e
*Avena strigosa***

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Instituto Federal de Minas Gerais – *Campus* São
João Evangelista como exigência parcial para
obtenção do título de Bacharel em Agronomia.

Orientador: Prof. Me. Alisson José Eufrásio de
Carvalho

SÃO JOÃO EVANGELISTA

2018

FICHA CATALOGRÁFICA

L865f
2018 Lourenço, Altieres Martins.

Fitorremediação de solo contaminado com Picloram utilizando em comunidade *Crotalaria Spectabilis*, *Mucuna Pruriens* e *Avena Strigosa*. Altieres Martins Lourenço – 2018.
34f. ; il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – Campus São João Evangelista, 2018.

Orientador: Me. Alisson José Eufrásio de Carvalho.

1. Adubos Verdes. 2. Fitotoxicidade. 3. Bioindicadora. 4. Descontaminação.
I. Lourenço, Altieres Martins. II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – Campus São João Evangelista. III. Título.

CDD 631.8

Elaborada pela Biblioteca Professor Pedro Valério

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais
Campus São João Evangelista

Bibliotecária Responsável: Rejane Valéria Santos – CRB-6/2907

ALTIERES MARTINS LOURENÇO

**FITORREMEDIAÇÃO DE SOLO CONTAMINADO COM PICLORAM
UTILIZANDO EM COMUNIDADE *Crotalaria spectabilis*, *Mucuna pruriens* e
*Avena strigosa***

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Instituto Federal de Minas Gerais – *Campus* São
João Evangelista como exigência parcial para
obtenção do título de Bacharel em Agronomia.

Aprovada em / /

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Prof. Me. Alisson José Eufrásio de Carvalho
Instituto Federal de Minas Gerais - Campus São João Evangelista

Prof. Dr. Victor Dias Pirovani
Instituto Federal de Minas Gerais - Campus São João Evangelista

Doutorando Ari Medeiros Braga Neto
Instituto Federal de Minas Gerais - Campus São João Evangelista

AGRADECIMENTOS

Ao senhor onipotente Deus, pôr me dar forças e boa vontade em seguir ao longo desses anos de curso.

Aos meus familiares, minha esposa Sintia e meus filhos Arthur e Raphaela pela confiança depositada e paciência na espera contínua pela finalização deste sonho. Aos meus pais Antônio e Maura, aos meus irmãos, Celin e Lena pelo apoio e incentivo.

Aos amigos Victor Duarte, Flamínia Campos e Leandro Gonçalves na realização deste trabalho e demais que contribuíram na montagem deste experimento, em especial Ágatha e Eduardo Henrique.

Novamente a Victor Duarte, Flamínia Campos, além de Lucas Maia e Samoel Geraldo pelo apoio incondicional ao longo de todo o curso, o apoio de vocês foi fundamental para que esse objetivo fosse alcançado.

A todos os professores que me passaram conhecimento e aprendizado, em especial ao professor Me. Alisson José Eufrásio de Carvalho pela orientação deste trabalho, pela amizade, paciência e companheirismo ao longo dos anos curso, sendo de extrema valia o conhecimento passado para minha formação e realização deste trabalho.

Ao Instituto Federal de Minas Gerais – *Campus* São João Evangelista, servidores e funcionários a qual fazem parte.

Enfim, a todos que de alguma forma contribuíram para que eu chegasse até aqui.

Muito obrigado !!!

“Ser humilde com os superiores é obrigação, com os colegas é cortesia, com os inferiores é nobreza”.

Beijamin Franklin

RESUMO

A técnica de fitorremediação é uma alternativa com grande potencial minimizador de poluentes, podendo ser utilizada para descontaminação de solos onde ocorreu uso excessivo de herbicidas, como o picloram, herbicida estudado no presente trabalho. O objetivo desta pesquisa foi avaliar a tolerância de adubos verdes ao picloram e a capacidade dessas plantas em diminuir os efeitos fitotóxicos do herbicida na bioindicadora *Cucumis sativus* - pepino. Foram avaliadas, em casa de vegetação, sendo quatro doses do herbicida picloram, 0,0; 1,0; 2,0 e 4,0 L ha⁻¹, em pré-emergência dos adubos verdes crotalária - *Crotalaria spectabilis*, mucuna - *Mucuna pruriens* e aveia-preta - *Avena strigosa*. Os tratamentos foram dispostos em esquema fatorial 4 x 3, sendo quatro doses de herbicidas e três comunidades de plantas, com cinco repetições. A parte aérea foi coletada após 60 dias da emergência, sendo semeado *Cucumis sativus* como bioindicadora cultivado por 45 dias após a semeadura. Os resultados evidenciaram a *Mucuna pruriens* como a espécie com potencial para fitorremediação de solos contaminados com picloram.

Palavras-chave: Adubos verdes, Fitotoxicidade, Bioindicadora, Descontaminação.

ABSTRACT

The phytoremediation technique is an alternative with great pollutant minimizing potential, and it can be used for soil decontamination where excessive use of herbicides, such as picloram, herbicide studied in the present work. The objective of this work was to evaluate the tolerance of green manures to picloram and the ability of these plants to reduce the phytotoxic effects of the herbicide on the bioindicator *Cucumis sativus* - cucumber. They were evaluated, in greenhouse, being four doses of the herbicide picloram, 0,0; 1.0; 2.0 and 4.0 L ha⁻¹, in pre-emergence of green manure *Crotalaria spectabilis*, mucuna - *Mucuna pruriens* and black oats - *Avena strigosa*. The treatments were arranged in a 4 x 3 factorial scheme, four herbicide doses and three plant communities, with five replications. The aerial part was collected after 60 days of emergence, and *Cucumis sativus* was sown as a bioindicator cultivated for 45 days after sowing. The results evidenced *Mucuna pruriens* as the species with potential for phytoremediation of soils contaminated with picloram.

Keywords: Green fertilizers, Phytotoxicity, Bioindicator, Decontamination.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Composição química ¹ da camada arável (0 – 20 cm) do solo utilizado no experimento.	20
Tabela 2 - Avaliação de fitotoxicidade de acordo com a escala de Alam (1974).	21
Tabela 3 - Resumo da análise de variância do índice de toxicidade avaliado nas espécies fitorremediadoras cultivado em solo tratado com doses crescentes do herbicida picloram.	23
Tabela 4 - Médias desdobradas de dose x toxidade das plantas fitorremediadoras cultivado em solo tratado com doses crescentes do herbicida picloram.	23
Tabela 5 - Resumo da análise de variância da altura avaliada das fitorremediadoras cultivado em solos contaminados por picloram.	24
Tabela 6 - Altura das plantas fitorremediadoras cultivadas em solo tratado com doses crescentes do herbicida picloram.....	25
Tabela 7 - Resumo da análise de variância do diâmetro avaliada das fitorremediadoras cultivado em solos contaminados por picloram.	25
Tabela 8 - Diâmetro das plantas fitorremediadoras cultivado em solo tratado com doses crescentes do herbicida picloram.....	26
Tabela 9 - Resumo da análise de variância com os dados dos atributos avaliados das espécies fitorremediadoras picloram.	26
Tabela 10 - Acúmulo de massa fresca da parte aérea de fitorremediadoras cultivada em solo tratado com herbicida com doses crescentes do herbicida picloram.	27
Tabela 11 - Acúmulo de massa seca da parte aérea de fitorremediadoras cultivada em solo tratado com herbicida com doses crescentes do herbicida picloram.	27
Tabela 12 - Resumo da análise de variância do índice de velocidade de germinação avaliado na cultura do pepino cultivado em sucessão a espécies fitorremediadoras.	28
Tabela 13 - Resumo da análise de variância com os dados dos atributos avaliados na cultura do pepino cultivado em sucessão a espécies fitorremediadoras.	29

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. REFERENCIAL TEÓRICO	12
2.1 O USO DE DEFENSIVOS QUÍMICOS NO BRASIL.....	12
2.2. ADUBAÇÃO VERDE	12
2.3. CONTROLE DE PLANTAS DANINHAS	13
2.4. PICLORAM	13
2.5. FITORREMEDIAÇÃO.....	14
2.6. FITORREMEIADORAS.....	16
2.6.1 <i>Avena strigosa</i>	16
2.6.2 <i>Crotalaria spectabilis</i>	17
2.6.3 <i>Mucuna pruriens</i>	18
2.7. BIOINDICADORA.....	18
2.7.1 <i>Cucumis sativus</i>	18
3. METODOLOGIA	20
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	22
4.1 PICLORAM	22
4.1.1 Fitotoxicidade das espécies fitorremediadoras	22
4.1.2 Altura das plantas de fitorremediadoras	24
4.1.3 Diâmetro de caule das plantas de fitorremediadoras.....	25
4.1.4 Massa fresca e seca da parte aérea das leguminosas.....	26
4.1.5 Índice de velocidade de germinação do pepino (IVG)	28
4.1.6 Matéria fresca e seca da parte aérea do pepino.....	28
5. CONCLUSÃO	30
REFERÊNCIAS.....	31

1. INTRODUÇÃO

A estimativa da produção de grãos no Brasil para a safra 2016/17 está em 210,5 e 214,8 milhões de toneladas. O crescimento poderá ser de até 13% em relação à safra anterior (CONAB, 2016). A presença de plantas daninhas nas áreas de cultivo influencia diretamente na produtividade das culturas, sendo de fundamental necessidade o seu controle, pois a competição por elas causadas, sem dúvidas é a forma mais conhecida de interferência direta das mesmas nas culturas agrícolas. Os recursos que mais levam as plantas a competirem entre si são: água, luz, nutrientes e a competição por espaço (PITELLI, 1987).

Em função da grande variedade de espécies de plantas daninhas e ou invasoras, o Brasil se caracteriza como um dos países que mais utilizam defensivos químicos na agricultura. As condições de país tropical forçam os produtores a utilizar mais defensivos, além disso, o país apresenta capacidade de gerir duas safras por ano, onde o uso de herbicidas torna-se um facilitador no manejo da cultura e no controle de plantas daninhas (DAHER, 2012).

O uso de herbicidas com alto poder de ação por longos períodos em áreas de cultivo, atuando na inibição do desenvolvimento de plantas daninhas, são essenciais na garantia da produtividade das principais commodities agrícolas produzidas atualmente, dado atenção especial aqueles que tem como característica principais o longo período total de prevenção da interferência das plantas daninhas (PROCÓPIO, 2009).

O herbicida Picloram[®] é um herbicida mimetizador de auxinas, registrado e usado no país para o controle de dicotiledôneas de porte arbóreo, arbustivo e subarbustivo em áreas ocupadas por pastagens, podendo ser encontrado puro ou em formulações, misturado a outras moléculas também do grupo das auxinas (RODRIGUES, 2005).

A transformação de pastagens em áreas agrícolas tem se tornado prática comum, principalmente na região do Cerrado brasileiro. No entanto, quando realizada a aplicação do herbicida picloram em pastagem visando o controle de plantas daninhas, esta torna-se inapta a ocupação de outras culturas sensíveis a esse herbicida, tais como a soja, o tomate, o feijão, o algodão e as cucurbitáceas em geral, por um período de pelo menos três anos (SANTOS et al., 2006).

Além da contaminação do solo de uso agrícola, outra questão preocupante é sua alta solubilidade em água, o que favorece sua movimentação vertical no perfil dos solos, podendo atingir e contaminar lençóis de água subterrânea (SANTOS et al., 2006).

A utilização de plantas com poder fitorremediadora de solos contaminados por altas doses de agroquímicos surge como uma técnica alternativa, uma vez que essas plantas podem retirar ou transformar a molécula de herbicida em substâncias não tóxicas, disponíveis no solo. Porém, conforme Pires et al., 2003, a seleção de espécies vegetais para remediação de moléculas de herbicidas tem limitações mais complexas se compararmos a remediação de solos com metais pesados, pois herbicidas são contaminantes que apresentam grande diversidade molecular, havendo necessidade de uma maior complexidade de análise diante das constantes transformações a que estão sujeitos.

Em função disso a utilização da fitorremediação se baseia na tolerância, que algumas espécies exibem a algumas moléculas de herbicidas ou a algum composto, tolerância essa que poderá ser natural ou adquirida (PIRES, et al., 2003). Assim, uma solução eficiente está em selecionar espécies que resistam à presença de determinado herbicida presente no solo através de testes e avaliações ou simplesmente pela presença de uma planta em pleno desenvolvimento normal em um local contaminado, sendo isso um indício que a mesma poderá se tornar uma planta fitorremediadora (ACCIOLY et al; 2000).

Tendo como bioindicadora do herbicida *Cucumis sativus* (pepino), pois apresenta conforme Santos (2013), um rápido desenvolvimento, fácil cultivo e sensibilidade ao resíduo do herbicida picloram presente no solo.

Este trabalho tem por objetivo avaliar a tolerância de adubos verdes como *Crotalaria spectabilis*, *Mucuna pruriens*, *Avena strigosa* ao herbicida picloram e a capacidade dessas plantas em diminuir os efeitos fitotóxicos do herbicida na bioindicadora *Cucumis sativus* - pepino

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 O USO DE DEFENSIVOS QUÍMICOS NO BRASIL

O consumo nacional de defensivos agrícolas é liderado pelos herbicidas, seguidos pelos inseticidas, fungicidas e acaricidas. A busca por produtos para controle de plantas daninhas persiste sendo o setor com maior índice de crescimento dentre os produtos químicos comercializados para proteção de plantas de produção no país, uma vez que os prejuízos causados por daninhas são enormes, além do fato de que o controle químico ainda é um dos métodos mais utilizados e comumente eficientes no controle de plantas daninhas, o que faz com que produtores sempre os recorram (VEGRO et al., 2015).

Meado de 2015 houve uma queda representativa de 21,56 % do consumo de defensivos agrícolas quando comparada ao ano anterior. Avaliando individualmente cada classe, pode ser notado que no ano de 2015, frente ao ano anterior, houve acréscimo na comercialização dos herbicidas de 4,36 % e fungicidas de 12,14 %. Entretanto, tais incrementos não foram suficientes para mitigar a queda contabilizada pelos inseticidas girando entorno de - 27,72 % (SINDAG, 2016).

2.2. ADUBAÇÃO VERDE

A adubação verde consiste no uso de culturas que geralmente são muito competitivas com as daninhas e que recentemente são estudadas para uso como fitorremediadoras de herbicidas em solos agrícolas contaminados (PIRES et al., 2003).

Uma das finalidades para o uso da adubação verde é a cobertura do solo, uma vez que o protege contra a exposição a intempéries, melhora sua produtividade e favorecer o meio ambiente de forma a aproveitar melhor seus recursos bem como otimizar as atividades de manejo e utilização de insumos (WUTKE et al., 2006).

O uso da adubação verde ajuda na melhoria das propriedades físicas e químicas do solo; além disso, grande parte dessas plantas possui poder de inibir o desenvolvimento de algumas plantas daninhas, mesmo após seu corte, pois formam uma grande massa de cobertura morta sobre o solo, impedindo a germinação de sementes de daninhas, principalmente devido bloqueio da luminosidade (MONQUERO, et al., 2013).

Um dos métodos de utilização dos adubos verde seria em pré-cultivo ou em rotação, sendo utilizados antes ou depois da implantação de uma determinada cultura, com objetivo de melhorar de alguma forma o solo (EMBRAPA, 2011).

2.3. CONTROLE DE PLANTAS DANINHAS

A competição causada por daninhas pode levar a perdas superior a 80 %, podendo variar de acordo com a espécie invasora, do grau de infestação, do período de exposição da cultura a competição, do estágio de desenvolvimento da cultura e do clima durante o período de exposição (SILVA, 2002).

As técnicas de manejo para controle de invasoras têm como objetivo extinguir os danos causados pela mesma, mas ao mesmo tempo ressaltando as características interessantes da planta forrageira ali presente, uma vez que a mesma não deve sofrer efeito negativo algum, juntamente com o solo em que está inserida bem como os animais que a consome (SILVA, 2002).

A eficácia de controle de plantas invasoras nas diferentes culturas é incerta, sendo o controle com o uso de defensivos inteiramente dependente das características físico-químicas do produto, condições climáticas e época de aplicação. No entanto aqueles com efeito residual prolongado, tem sido um dos fatores associados à elevada eficácia no rompimento da competitividade entre planta daninhas e cultura de produção (DAN et al., 2010).

Dentre os métodos disponíveis para controle das plantas daninhas, um dos mais efetivos é o químico, que é utilizado para eliminar ou inibir de alguma forma o desenvolvimento da daninha, porém, recomenda-se que o método seja aliado a outros métodos de controle, prevalecendo o método cultural como o de maior importância (SILVA, 2002).

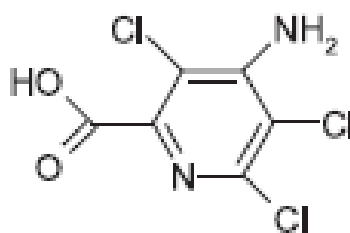
2.4. PICLORAM

Os herbicidas mimetizadores de auxinas são comumente utilizado no manejo de daninhas em pastagens, sendo também um dos mais recomendados (CARMO, 2008). Isso se deve a sua característica latifolicida, ou seja, sua seletividade a gramíneas, uma vez que a maioria das pastagens são formadas por esse tipo de planta. Porém, as moléculas de herbicidas desse grupo podem gerar problemas ambientais, além de problemas toxicológicos

em plantas sensíveis cultivadas em sucessão, uma vez que sua persistência no solo é longa. (SANTOS, 2006).

Dentro desse grupo, encontra-se o picloram (ácido 4-amino 3,5,6-tricloro-2-piridinacarboxílico), apresentando a fórmula estrutural representada na figura 1 (TEXEIRA et al., 2007).

Figura 1. Fórmula estrutural do Picloram.



Fonte: TEXEIRA et al., (2007).

As moléculas químicas contidas neste herbicida levam a um distúrbio na atividade celular da planta, fazendo com que haja crescimento desordenado das células, levando a destruição dos vasos condutores do floema impedindo o transporte de seiva, ocorre o rompimento das células devido ao crescimento e alongamento exagerado, sendo utilizado para controlar invasoras dicotiledôneas em pastagens (CARMO et al., 2008)

Moléculas de herbicidas do grupo das auxinas possuem como característica a facilidade na detecção de sintomas de toxicidade em plantas dicotiledôneas, sendo demonstrados especialmente nas folhas, por esse motivo são amplamente utilizados para detecção de resíduos desses no solo (THILL, 2003).

2.5.FITORREMEDIAÇÃO

A crescente demanda por defensivos agrícolas atrai nossa atenção aos riscos ambientais que o uso destes poderão trazer ao meio ambiente (BELO et al., 2011). A descontaminação de ambientes com a utilização de plantas é denominada fitorremediação, essa técnica é vantajosa em relação aos demais métodos de tratamento usados, já que pode ser utilizada no próprio local contaminado, além de apresentar viabilidade econômica (PIRES et al, 2003).

A utilização dessa técnica se dá em ambientes contaminado com os mais variados tipos de poluentes e de variadas origens, podendo ser orgânicos ou inorgânicos, dentre eles os agrotóxicos (CUNNINGHAM et al., 1996).

Os procedimentos utilizados se baseiam na utilização de plantas juntamente com seus microrganismos associados, agindo na degradação, no sequestro ou imobilização do contaminante (SILICIANO et al., 1999).

A utilização de plantas consideradas adubos verdes vem se tornando a opção promissora para tratamento de solos por meio da fitorremediação. Essas plantas são na sua maioria leguminosas, capazes de sobreviver na presença da molécula contaminante além de estimularem os microrganismos presentes no solo a atuarem na degradação da mesma, através da decomposição de um resíduo orgânico aplicado (MONQUERO et al., 2013).

De acordo com estudos de Pires (2005) e Carmo (2008), a fitorremediação torna-se uma boa opção para tratamento de ambientes agrícolas com presença de herbicidas, dentre eles o picloram, se tornando um dos melhores métodos para tratamento de áreas contaminadas quando confrontado com os demais, tais como: remoção física, bombeamento e tratamento (CUNNINGHAM et al., 1996; PERKOVICH, 1996).

Este método de tratamento é classificado em oito diferentes processos que ocorrem na seguinte ordem quando agem em total conjunto ou em partes, variando conforme fisiologia da planta fitorremediadora (PROCÓPIO et al., 2009):

- Fitoextração: Ocorre quando a planta absorve a molécula do ambiente
- Fitoacumulação: Quando planta acumula a molécula do contaminante em seus órgãos mantendo sua forma original
- Fitodegradação: Transformação da molécula dentro da planta em uma forma menos toxica que a original ou sem toxicidade alguma.
- Fitovolatilização: A molécula é transformada em uma forma volátil, ficando livre na atmosfera.
- Fitoestimulação: Ocorre indução da comunidade microbiana a agir sobre a molécula pela produção de exsudados radiculares
- Rizovolatilização: Transformação da molécula em uma forma volátil para a atmosfera através da ação de microrganismos radiculares
- Rizoestabilização: Imobilização da molécula em sua estrutura radicular, onde o contaminante fica sem atividade maléfica no solo

Encontrar em uma só espécie de planta todas essas características ou partes delas para que a considere como uma boa fitorremediadora é um dos entraves na escolha, principalmente

quando se avalia individualmente uma espécie como fitorremediadora, porém apesar de poucos estudos pode se avaliar várias espécies em conjunto em um mesmo ambiente atuando na remoção de diferentes moléculas ou de uma molécula individual (MILLER, 1996).

O uso dessas plantas em consórcio é benéfico, otimiza o uso da área, evita o desenvolvimento de pragas, além de melhorar o solo fisicamente e quimicamente (MEIRA et al., 2012).

2.6. FITORREMEDIADORAS

2.6.1 *Avena strigosa*

A *Avena strigosa*, popularmente conhecida como aveia preta é uma planta originária da Europa, possui colmo com formato cilíndrico formado por nós e entrenós, baixa pilosidade sendo uma gramínea de inverno (FEROLLA, 2005).

Com a implementação do novo sistema de plantio nas grandes culturas, o plantio direto, se tornou necessidade fundamental a formação de palhada na área cultivada e aliado a isso a rotação de culturas, com isso, desenvolve-se novos protótipos de produção, entre eles a ILP (Integração Lavoura Pecuária), onde as aveias ganharam ainda mais enfoque, já que poderiam ser utilizadas com forrageira para alimentação animal e como formadora de palha para cobertura de solo (CARVALHO, 2006).

Quando comparada a aveia branca, a aveia preta apresenta maior rusticidade se destacando pela maior emissão de perfilho durante a rebrota, resistência a doenças e pragas, além de pouca exigência em fertilidade, também apresenta resposta positiva a aplicação de nitrogênio, fosforo e potássio (NPK), podendo ser utilizada como cobertura viva ou cobertura morta na conservação de solos ou como forrageira e na produção de grãos (FEROLLA, 2005).

Quando utilizada para este fim, a aveia preta deverá ser cortada entre 120 e 140 dias após o plantio mais especificamente na fase de grão leitoso, isso evita o lançamento de sementes para o cultivo subsequente. Poderá ser cultivada solteira ou em consórcio, atuando na melhoria sanitária de solos quanto ao ataque de pragas e doenças que nele habitam quando cultivadas em sucessão, aumentando ainda mais a produção das culturas de verão com quem está sendo rotacionada (COSTA et al., 1992).

Conforme observado o cultivo da aveia se estende a cultura subsequente atenuando as interferências negativas que as invasoras causam a lavoura, isso se deve a suas propriedades alelopáticas que inibe o crescimento e desenvolvimento das mesmas, além de melhorar o solo

fisicamente pela quantidade de massa que gera após o corte, podendo produzir até 8 toneladas de massa seca por hectare (FERROLA, 2005; PAES, 2013).

Na fitorremediação de solos contaminados com herbicidas Pires et al. (2005) utilizou plantas já usadas como adubos verdes para mitigar ou inibir as moléculas tóxicas, sendo os espécimes: *C. ensiformis*, *Lupinus albus*, *Stizolobium aterrimum*, entre elas a *A. strigosa*.

2.6.2 *Crotalaria spectabilis*

A *Crotalaria spectabilis*, popularmente conhecida como crotalária, xique-xique é uma leguminosa da família Fabaceae, tendo como origem na Índia, muito utilizada como cobertura de solos na agroecologia agindo como adubo verde (ALBUQUERQUE et al., 2000; LEAL et al., 2012).

Seu crescimento é de forma arbustiva lenhoso ereto e determinado, com grande produção de fibras, tendo grande adaptação ao clima tropical apresentando grande crescimento e produção de massa, produzindo acima de dez toneladas por hectare ano e ultrapassando três metros de altura, quando deve ser cortada para produção de cobertura morta sobre o solo, observando sempre o período floral para que o faça (AMBROSANO et al., 1997).

Quando a planta chega nessa fase ela já demonstrou seu máximo vigor em produção de massa e é quando seus ramos ainda apresentam baixo teor de lignina e baixo teor de carbono, ou seja, baixa relação carbono/nitrogênio (C/N), levando uma melhor decomposição do material cortado (BARRETO et al., 2001).

Está leguminosa apresenta um bom crescimento radicular agindo na descompactação de solos, se adaptando a variadas texturas e com baixos teores de fósforo (BARRETO et al., 2001).

Quando usado na fitorremediação de solos contaminados com trifloxysulfuron-sodium na dose estimada de 4,00 g ha⁻¹ e cultivado posteriormente com milho, não foi observado efeito das doses do herbicida sobre biomassa da parte aérea e observado maior altura das plantas na dose aplicadas de 3,75 g ha⁻¹ da cultura quando a área foi cultivada com *C. spectabilis* em consorcio com outras espécies (SANTOS et al., 2004).

2.6.3 *Mucuna pruriens*

A *Mucuna pruriens*, conhecida popularmente por mucuna é uma leguminosa da família Fabaceae, tendo como ponto de origem a Índia (HAMMERTON, 2003). É uma planta de hábito trepador com altura de três a dezoito metros, produz frutos do tipo vagem revestida por pilosidades que em contato com a pele pode causar irritações, as flores apresentam coloração de branco a roxo escuro (RAINA et al., 2012).

Apesar de poucos estudos sobre *M. pruriens* no sistema agrícola nacional, é uma espécie com boas características para que seja introduzida, já que apresenta boa produção de massa verde sem haver o risco de infestação da área de cultivo, diferentemente da *Mucuna aterrima*, suas sementes não apresentam dormência no solo, apresentando menor agressividade durante seu manejo (BRANCALIÃO, 2009).

Contudo, a *M. pruriens* ainda apresenta certa agressividade devido ao grande acúmulo de biomassa durante seu desenvolvimento, comportamento justificado pelo seu hábito de crescimento dividido em duas fases:

- Fase 1: Até os quarenta dias após a semeadura, caracterizado por um baixo crescimento inicial e pouco acúmulo de biomassa, o que leva a uma baixa capacidade de cobertura de solo
- Fase 2: Quarenta dias após a semeadura, taxas maiores de crescimento e acúmulo de biomassa, onde apresenta máxima cobertura de solo aos cem dias após a semeadura, levando a inibição do crescimento de várias daninhas (MIOTTO et al., 2005).

Devido ao grande acúmulo de biomassa, a mucuna cinza apresenta grande potencial para uso em fitorremediação, podendo ser usada em solos contaminados com resíduos de cobre, uma vez que tal atributo indica a possibilidade de agir na fitoestabilização do cobre presente, pois foi capaz de acumular grande quantidade de cobre no seu sistema radicular (VENDRUSCOLO, 2013).

2.7. BIOINDICADORA

2.7.1 *Cucumis sativus*

O pepino, *Cucumis sativus*, é uma planta de originada das regiões da Índia e Nepal, é uma dicotiledônea da família Cucurbitaceae. Sendo o segundo uma olerícula mais consumida e plantada dessa família, superada apenas pela melancia, possui sistema radicular pivotante,

com boa densidade e relativamente raso. Possui caule herbáceo, com boa flexibilidade e de hábito trepador (ALMEIDA, 2006).

A *C. sativus* é uma planta que se adapta muito bem a temperaturas acima de 20 °C, sendo sua produção e desenvolvimento prejudicados em baixas temperaturas. Em regiões de clima frio, que estão expostas a quedas bruscas de temperatura no inverno, os produtores a partir da década de 80 passaram a cultivar o pepino em ambiente protegido (CAÑIZARES, 1998; WILCKEN, 2010).

O cultivo de pepino em ambiente protegido melhora a qualidade dos frutos, refletindo em uma maior aceitação do produto para comercialização, além de possibilitar a produção fora de épocas favoráveis a cultivo a campo, para isso todos os métodos fitotécnicos deveram ser muito bem aplicados (MARTINS et al., 1995; PEREIRA et al., 2003; QUEIROGA et al., 2008; DUARTE et al., 2010).

O ciclo fenológico da cultura do pepino sofre variações, não sendo bem descrito, já que cada estágio varia de acordo com local de cultivo e como é conduzido (campo aberto, ambiente protegido, tutorado ou não), diferindo de outras culturas, já que os desenvolvimentos vegetativos e reprodutivos acontecem de forma simultânea (BLANCO, 2002 a).

É uma planta monoica, embora já haja híbridos ginóicos que desenvolvem basicamente flores femininas, sua polinização se dá por abelhas, sendo ela alógama. O fruto do tipo baga com coloração do verde claro ao verde escuro, variando quanto ao formato, podendo ser cilíndricos, afilados ou alongados de acordo com o grupo à qual pertence (FILGUEIRA, 2003).

A produção de pepino representa além da grande importância nutricional e econômica, importância fundamental em aspectos sociais, gerando emprego e renda a comunidades e famílias onde se implanta e se comercializa o produto (LOPES, 1991).

Porém quando produzido em área contaminada com herbicidas podem ter sua produção afetada, pois a cultura do pepino cultivada em ambiente contaminado com 2,4-D + Picloram sofre drasticamente com a presença das moléculas (NASCIMENTO, 2009).

Isso indica ser uma boa espécie indicadora de resíduos de herbicidas auxínicos, já sendo usada para detecção da presença da molécula no solo (THILL, 2003).

3. METODOLOGIA

O experimento foi conduzido em casa de vegetação localizada no Instituto Federal de Minas Gerais – *Campus* São João Evangelista (18° 55' 182"S, 42° 75' 349" W e altitude de 720 m) entre os meses de abril e agosto de 2017. Foram avaliadas três espécies que são utilizadas como adubo verde: *Crotalaria spectabilis*, *Mucuna pruriens* e *Avena strigosa*. A escolha das espécies foi baseada em experimentos preliminares de tolerância aos herbicidas (CARMO et al., 2008; BELO et al., 2011).

O delineamento adotado foi em blocos ao acaso, em arranjo fatorial 4 x 3, sendo quatro doses do herbicida Picloram[®], três comunidades de plantas fitorremediadora e em três tempos, com cinco repetições. Foram utilizadas doses crescentes do herbicida, 0,0; 1 L ha⁻¹; 2,0 L ha⁻¹ e 4 L ha⁻¹, sendo a dose 2 L ha⁻¹ utilizada comercialmente. As comunidades foram representadas pela Comunidade 1 – espécies de adubos verdes; Comunidade 2 – espécies de daninhas crescidas espontaneamente do banco de sementes do solo; Comunidade 3 – solo mantido sem espécies vegetais. Todas as comunidades foram avaliadas a toxicidade em três tempos, aos 15, 30 e 45 dias após a semeadura – DAS.

Cada unidade experimental foi constituída por um vaso de polietileno com furos na parte inferior, preenchidos com 25 dm³ (volume) de solo retirado de uma área de cultivo de milho previamente corrigida e peneirado em malha de quatro milímetros. Uma amostra foi coletada e posteriormente analisada quimicamente no Laboratório de Análises de Solos do IFMG-SJE (Tabela 1).

Tabela 1- Composição química¹ da camada arável (0 – 20 cm) do solo utilizado no experimento.

Atributos*	Teores
pH em água	5,9
P Merlich ⁻¹ (mg.dm ⁻³)	18,64
K Merlich ⁻¹ (mg.dm ⁻³)	60
Ca ²⁺ (cmol _c .dm ⁻³)	2,05
Mg ²⁺ (cmol _c .dm ⁻³)	0,95
Al ³⁺ (cmol _c .dm ⁻³)	0
H + Al (cmol _c .dm ⁻³)	2,03
SB (cmol _c .dm ⁻³)	3,15
CTC (t) (cmol _c .dm ⁻³)	3,15
CTC (T) (cmol _c .dm ⁻³)	5,18
V %	60,83
m%	0
MO (dag.kg ⁻¹)	0,87
P-rem (dag.kg ⁻¹)	42,94

¹ Análise realizada no laboratório de Solos do IFMG- *Campus* São João Evangelista, 2017.

* pH em água relação 1:2,5; P –K Extrator Mehlich⁻¹; Ca²⁺, Mg²⁺, Al³⁺, extrator KCl₁N; H + Al extrator SMP; SB: soma de sabes trocáveis; CTC (t) - capacidade de trocas catiônicas efetiva; CTC (T) – capacidade de troca catiônica a pH 7,0; V- índice de saturação de bases; m – índice de saturação de alumínio; MO – matéria orgânica (oxidação: Na₂Cr₂O₇4N + H₂SO₄10N); P-rem – fósforo remanescente. Fonte: o autor.

Após o enchimento e umedecimento dos vasos, foi aplicado as dosagens do herbicida picloram em pré-emergência, por meio de um pulverizador costal elétrico equipado de barra de pulverização contendo um bico tipo leque Teejet 110.02 e com volume de aplicação de 150 L ha⁻¹. A aplicação foi realizada do lado externo da casa de vegetação para redução dos riscos de deriva do herbicida e contaminação do ambiente. A barra do pulverizador foi posicionada 0,5 m acima da borda superior dos vasos. Após 72 h da aplicação dos herbicidas os vasos foram arranjados em blocos no interior da casa de vegetação onde foram mantidos até o final do experimento.

Após três dias de aplicação do herbicida realizou as sementeira das espécies *C. aspectabilis*, *M. pruriens*, *A. strigosa*, utilizando cinco sementes de cada espécie por vaso. Após a emergência foram desbastadas, deixando apenas uma planta por espécime na unidade amostral, formando assim a comunidade de espécies fitorremediadoras. A segunda comunidade foi estabelecida com as espécies de plantas daninhas que germinaram espontaneamente do bando de semente do solo em estudo. A terceira comunidade foi estabelecida com a capina manual semanal, mantendo a superfície do vaso livre de plantas.

A fitotoxicidade do herbicida nas plantas fitorremediadoras foi avaliada aos 15, 30 e 45 dias após a sementeira (DAS). Para avaliação da fitotoxicidade do herbicida, foram atribuídas notas de 0 a 100 %, em que 0 representou ausência de sintomas e 100 a morte da planta (ALAM, 1974) (Tabela 2). Aos 60 DAS foi avaliada a massa fresca e massa - MFPA seca da parte aérea - MSPA das espécies vegetais. Para determinar a massa seca da parte aérea das espécies vegetais, o material foi seco a 65 ± 2 °C em estufa com circulação de ar forçada por 72 horas, até atingir peso constante.

Tabela 2 - Avaliação de fitotoxicidade de acordo com a escala de Alam (1974).

%	SINTOMAS	DESCRIÇÃO DOS SINTOMAS
0	Nenhum	Nenhum sintoma visível
3	Duvidoso	Parece apresentar algum sintoma
5	Leve	Sintoma leve com pequeno amarelecimento
10	Definido	Sintoma claro com amarelecimento visível
15	Definido sem danos econômico	Amarelecimento, clorose, engruvinhamento
20	Aceitável	Amarelecimento, clorose mais intensa, engruvinhamento
30	Limite aceitável	Aceitável comercialmente sem danos econômicos
40	Severo	Clorose, engruvinhamento, necrose e redução do porte
60	Muito Severo	Redução de stand com 25 % de morte
80	Extremamente Severo	75 % de morte de plantas
100	Total Destruição	100 % de morte de plantas

Fonte: Alam, 1974.

Foram necessárias ao longo do experimento capinas manuais semanais nas comunidades um e três, contudo, após o trato cultural as daninhas foram mantidas na superfície do solo com o intuito de não interferir na evaporação da água e das doses dos herbicidas contidas no solo. A irrigação foi realizada manualmente, de acordo com o monitoramento realizado diariamente observando a existência ou não de água nos pratos acondicionados em sua base.

Após a coleta das plantas fitorremediadoras realizou-se a adubação com 3,40 g vaso⁻¹ de (NH₂)₂CO, 16,66 g vaso⁻¹ de P₂O₅ e 5,39 g vaso⁻¹ de KCl para implantação da cultura do pepino - *Cucumis sativus* (RIBEIRO et al., 1999; FILGUEIRA et al., 2003), utilizada como planta bioindicadora devido sua sensibilidade ao picloram.

Logo após a adubação realizou-se a semeadura do pepino, depositando duas sementes por vaso. Posteriormente foi avaliado o Índice de Velocidade de Germinação (IVG) do pepino com os dados referentes ao número de plântulas germinadas até os 20 DAS. Foram necessárias capinas manuais com ocorrência semanal mantendo o solo com a cobertura das daninhas extraídas.

Aos 15, 30 e 45 DAS, realizou-se os sintomas de toxicidade do herbicida nas plantas de pepino (ALAM, 1974). Aos 45 DAS foi avaliada a biomassa fresca e seca da parte aérea. Para determinar a massa seca da parte aérea, o material colhido foi colocado em estufa a 70 °C com circulação forçada de ar por 72 horas.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA), e as médias dos tratamentos, quando significativas, comparadas pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade, utilizando-se o programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2003).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 PICLORAM

4.1.1 Fitotoxicidade das espécies fitorremediadoras

Ao observar os resultados da análise de variância do índice de toxicidade das espécies fitorremediadoras em função das dosagens e do tempo de exposição, notamos diferença significativa da reação de toxicidade das fitorremediadoras em interação com a dosagem ($p < 0,05$) (Tabela 3). Os efeitos das variáveis dose e fitorremediadora quando analisada de

forma isolada também obteve diferença significativa, o que leva a acreditar a uma dependência destas duas variáveis, entretanto, o fator tempo não foi significativo ($p > 0,05$).

Tabela 3 - Resumo da análise de variância do índice de toxicidade avaliado nas espécies fitorremediadoras cultivado em solo tratado com doses crescentes do herbicida picloram.

FV	GL	QM
		TOXICF (%)
Bloco	4	4824,3850
Dose	3	42132,2554*
Fito	2	19329,0358*
Tempo	2	994,9129 ^{ns}
Dose x Fito	6	1226,9373*
Dose x Tempo	6	317,3755 ^{ns}
Fito x Tempo	4	1334,3092 ^{ns}
Dose x Fito x Tempo	12	321,2755 ^{ns}
Erro	140	563,1325
Total	179	
CV (%)		50,71

ns: não significativo pelo teste F a 5 % de significância; *: significativo a 5 % pelo teste F; CV: coeficiente de variação; TOXICF: Toxicidade do herbicida nas fitorremediadoras.

Os maiores índices de toxicidade das plantas *C. spectabilis*, *M. pruriens* e *A. strigosa* utilizadas como fitorremediadora para o herbicida picloram foram encontradas em dose igual ou superior àquela utilizada comercialmente (2,0 e 4,0 L ha⁻¹). A *M. pruriens* apresentou 49 % de toxicidade, inferior as demais espécies quando utilizada as doses 2,0 e 4,0 L, no entanto, exibiu sintomas de clorose, engruvinhamento e redução do porte que pode diminuir o poder de fitorremediação. As demais espécies *A. strigosa* e *A. spectabilis* exibiu comportamento de toxicidade extremamente severo, de 89,80 e 86,11 % respectivamente, chegando com perdas da comunidade de 75 a 100 %, comportamento não desejável para uma planta fitorremediadora (tabela 04). A plantas *M. pruriens* e *A. strigosa* quando submetidas a um solo com uma superdosagem mostrar-se uma toxicidade inferior a dosagem comercial, podendo variar entre sintomas severos a muito severo com redução de até 25 % do stand da comunidade fitorremediadora.

Tabela 4 - Médias desdobradas de dose x toxidade das plantas fitorremediadoras cultivado em solo tratado com doses crescentes do herbicida picloram.

Dose (L ha ⁻¹)	Toxicidade (%)		
	<i>Crotalaria spectabilis</i>	<i>Mucuna pruriens</i>	<i>Avena strigosa</i>
0	28,96 Ab	1,07 Aa	1,09 Aa
1	53,60 Bb	19,33 Ba	27,09 Ba
2	86,11 Cb	49,00 Ca	89,80 Db
4	92,44 Cb	48,33 Ca	64,71 Ca

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

Ao analisar o efeito da interação dose *versus* tempo e fitorremediadora *versus* tempo, não foi possível detectar significância de acordo com o espaço temporal utilizado ($p > 0,05$), sendo necessário novos experimentos com amplificação do intervalo de tempo para detectar possíveis variações existentes na influência da fitotoxicidade destas espécies fitorremediadora

A espécie *C. spectabilis* quando introduzida em ambientes com resíduos de herbicida do grupo químico úreia (tebuthiuron) e sulfonilúreias (trifloxysulfuron-sodium) manifestou sensibilidade e toxicidade, não sendo indicada como espécie fitorremediadora para os herbicidas com sitio de ação na inibição da fotossíntese, fotossistema II, e na inibição da ação da enzima acetolactato sintase ou acetohidroxidoácido sintase (Pires, 2003; Procópio et al., 2005).

4.1.2 Altura das plantas de fitorremediadoras

Os valores observados para altura da planta fitorremediadora (ALTF) reagiu de forma independente em relação a dosagem do herbicida utilizado ($p < 0,05$). Contudo, ocorreu efeito significativo das espécies na altura das plantas fitorremediadoras ($p < 0,05$) (Tabela 5).

Tabela 5 - Resumo da análise de variância da altura avaliada das fitorremediadoras cultivado em solos contaminados por picloram.

FV	GL	QM
		ALTF
Bloco	4	1853,9758
Dose	3	4227,0693 ^{ns}
Fito	2	49338,7955*
Dose x Fito	6	3957,3595 ^{ns}
Erro	44	4433,5455
Total	59	
CV (%)		150,30

ns: não significativo pelo teste F a 5 %; *: significativo a 5 % pelo teste F; ALTF: Altura da parte aérea das fitorremediadoras

As espécies *C. spectabilis* e *A. strigosa* não apresentaram crescimento diferenciado quando submetidas as diferentes dosagens 0, 1, 2 e 4 L ha⁻¹ (Tabela 6). Já a *M. pruriens* quando submetida a pequenas doses na dose (0 e 1 L ha⁻¹) seu crescimento não é afetado, o que reflete a tolerância ao princípio ativo do herbicida picloram, quando inserida em ambientes manejada com doses iguais ou superior a comercial (2 e 4 L ha⁻¹) há uma queda na altura de até 32 %, demonstrando a existência de resíduos do herbicida no solo. Esse fato demonstra a capacidade de remediar o resíduo do herbicida pelas espécies fitorremediadoras, principalmente a *M. pruriens* e *A. strigosa* que apresentaram crescimento mesmo na presença de doses crescentes do herbicida, demonstrando um possível potencial para fitorremediação.

Tabela 6 - Altura das plantas fitorremediadoras cultivadas em solo tratado com doses crescentes do herbicida picloram.

Dose (L ha ⁻¹)	Altura (cm)		
	<i>Crotalaria spectabilis</i>	<i>Mucuna pruriens</i>	<i>Avena strigosa</i>
0	2,60 Aa	151,78 Bb	28,02 Aa
1	2,30 Aa	120,80 ABb	43,18 Aab
2	0,00 Aa	39,20 Aa	34,80 Aa
4	0,00 Aa	82,74 ABa	26,18 Aa

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade

Pires (2003) encontrou em seu trabalho resultados semelhantes para *C. spectabilis* e *A. strigosa* ao analisar o parâmetro altura, sendo que as espécies estudadas apresentaram uma redução da altura com o aumento gradativo das doses de tebuthiuron, ou até mesmo não se desenvolvendo. Este fato pode está ligado na incapacidade de inativação ou imobilização da molécula, afetando a diferenciação celular consequentemente o desenvolvimento da planta.

Melo et al., (2009) descreve em seu trabalho onde se avalia o potencial de fitorremediação de Arsênio do solo utilizando *A. strigosa* que ao sétimo dia de exposição das plantas ao Arsênio, na dose de 200 mg dm⁻³, as mesmas apresentaram redução no crescimento da parte aérea em função de sua alta sensibilidade ao Arsênio.

4.1.3 Diâmetro de caule das plantas de fitorremediadoras

Houve efeito significativo das plantas fitorremediadoras em relação ao diâmetro do coleto ($p < 0,05$) (Tabela 7).

Tabela 7 - Resumo da análise de variância do diâmetro avaliada das fitorremediadoras cultivado em solos contaminados por picloram.

FV	GL	QM
		DIÂMETRO (mm)
Bloco	4	3,2667
Dose	3	3,6708 ^{ns}
Fito	2	60,1167*
Dose x Fito	6	5,0167 ^{ns}
Erro	44	
Total	59	
CV (%)	140,34	

ns: não significativo pelo teste F a 5 %; *: significativo a 5 % pelo teste F; CV: coeficiente de variação.

O diâmetro do coleto das espécies fitorremediadora quando analisadas de separadamente não diferenciou em relação as dosagens utilizadas ($p > 0,05$). A resposta de cada espécie em relação as dosagens a qual foram submetidas sugere que a espécie *A. strigosa* possui incremento 2,32 vezes maior quando comparada a espécie *M. pruriens*, para dose comercial, se igualando quando inserida em ambientes manejado com 4 L ha⁻¹. A espécie *C.*

spectabilis não apresentou desenvolvimento nas doses igual ou superior a dosagem comercial (Tabela 8).

Tabela 8 - Diâmetro das plantas fitorremediadoras cultivado em solo tratado com doses crescentes do herbicida picloram.

Dose (L ha ⁻¹)	Diâmetro (mm)		
	<i>Crotalaria spectabilis</i>	<i>Mucuna pruriens</i>	<i>Avena strigosa</i>
0	0,30 Aa	2,60 Aa	1,90 Aa
1	0,20 Aa	2,80 Aab	5,20 Ab
2	0,00 Aa	1,90 Aa	4,40 Ab
4	0,00 Aa	3,00 Aa	2,40 Aa

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

4.1.4 Massa fresca e seca da parte aérea das leguminosas

Foi observado efeito das fitorremediadoras sobre o acúmulo da massa fresca da parte aérea - MFPA e massa seca da parte aérea - MSPA dos adubos verdes ($p < 0,05$) (Tabela 9).

Quanto analisada a massa fresca da parte aérea entre as plantas fitorremediadoras, observa-se uma diferenciação de 133,9 vezes maior da espécie *M. pruriens* em relação as espécies *C. spectabilis* e *A. strigosa* quando o solo não é manejado com o herbicida picloram. No entanto não há diferença entre as espécies quando utilizada as doses 1, 2 e 4 L ha⁻¹. (Tabela 10).

Tabela 9 - Resumo da análise de variância com os dados dos atributos avaliados das espécies fitorremediadoras picloram.

FV	GL	QM	
		MFPAF	MSPAF
Bloco	4	192,3782	2,5135
Dose	3	180,3978 ^{ns}	6,1525 ^{ns}
Fito	2	2025,9447*	99,8439*
Dose x Fito	6	199,7224 ^{ns}	6,5085 ^{ns}
Erro	44	374,4410	11,2237
Total	59		
CV (%)		191,84	200,55

ns: não significativo pelo teste F a 5 %; *: significativo a 5 % pelo teste F; MFPAF: Massa fresca parte aérea fitorremediadora; MSPAF: Massa seca da parte aérea das fitorremediadoras.

Tabela 10 - Acúmulo de massa fresca da parte aérea de fitorremediadoras cultivada em solo tratado com herbicida com doses crescentes do herbicida picloram.

Dose (L ha ⁻¹)	MFPAF (g)		
	<i>Clotalaria spectabilis</i>	<i>Mucuna pruriens</i>	<i>Avena strigosa</i>
0	0,24 Aa	32,14 Ab	1,54 Aa
1	7,32 Aa	20,62 Aa	13,10 Aa
2	0,00 Aa	15,50 Aa	0,80 Aa
4	0,00 Aa	17,02 Aa	12,76 Aa

MFPAF: Massa fresca da parte aérea das fitorremediadoras. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

Para a produção de massa seca da parte aérea foi observado que a fitorremediadora, *M. pruriens* acumulou 5,25 g planta⁻¹ de massa seca na dose de 1 L ha⁻¹. Essa produção foi 525 vezes superior a *C. spectabilis* e 4,17 vezes superior à *A. strigosa* (Tabela 11). Dentre as três espécies não houve diferença no acúmulo de massa fresca a pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade para *C. spectabilis* e *A. strigosa* na dose controle, onde não houve sobrevivência das plantas, diferindo de *M. pruriens* que apresentou sobrevivência apenas no controle, mostrando também grande sensibilidade ao herbicida nas demais dosagens (Tabela 11).

Tabela 11 - Acúmulo de massa seca da parte aérea de fitorremediadoras cultivada em solo tratado com herbicida com doses crescentes do herbicida picloram.

Dose (L ha ⁻¹)	MSPAF (g)		
	<i>Crotalaria spectabilis</i>	<i>Mucuna pruriens</i>	<i>Avena strigosa</i>
0	0,02 Aa	6,21 Ab	0,15 Aa
1	0,01 Aa	5,25 Ab	1,26 Aab
2	0,00 Aa	2,57 Aa	0,07 Aa
4	0,00 Aa	2,64 Aa	1,11 Aa

MSPAF: Massa Seca da parte aérea das fitorremediadoras. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

Soares et al., (2013) trabalhando com fitorremediação de metais pesados encontrou resultados semelhantes com *A. strigosa*, observando queda considerável na produção de matéria seca, baixa translocação e acumulação de cádmio, indício de limitações para ser usada como fitorremediadora.

Pires, et al., 2005 usando *A. strigosa* como planta indicadora da presença do herbicida tebuthiuron cultivada em sucessão de diferentes fitorremediadoras, apresentou queda da produção de matéria seca da parte aérea conforme aumento das doses do herbicida.

4.1.5 Índice de velocidade de germinação do pepino (IVG)

Não foi observada influência das doses do herbicida, fitorremediadoras e interação entre dose e fitorremediadora no índice de velocidade de germinação do pepino ($p > 0,05$) (Tabela 12).

Tabela 12 - Resumo da análise de variância do índice de velocidade de germinação avaliado na cultura do pepino cultivado em sucessão a espécies fitorremediadoras.

FV	GL	QM
		IVG
Bloco	4	37,4694
Dose	3	40,3099 ^{ns}
Fito	2	5,0192 ^{ns}
Dose x Fito	6	51,4975 ^{ns}
Erro	44	33,8984
Total	59	
CV (%)		63,74

ns: não significativo pelo teste F a 5 %; *: significativo a 5 % pelo teste F. IVG: Índice de velocidade de germinação.

Nascimento et al., (2009) encontrou resultados diferentes quando analisado o índice de velocidade de germinação do pepino submetido a ambientes contaminados com resíduos de herbicidas contendo traços de picloram, ocorrendo redução de até 65% na germinação em dosagens superiores a $0,48 \text{ L ha}^{-1}$, demonstrando alta susceptibilidade a molécula. Contudo, o solo não apresentou resíduos de picloram suficientes que alterasse a velocidade de germinação das sementes do pepino, denotando mais uma vez a eficiência das fitorremediadoras para extração do herbicida, podendo observar que não ocorreu diferença significativa entre as médias na comunidade de adubos verdes, comunidade nativa e comunidade capinada.

4.1.6 Matéria fresca e seca da parte aérea do pepino

Não foi observado efeito de dose, fitorremediadora e da interação entre dose e comunidades de plantas sobre o acúmulo da MFPA e MSPA do pepino ($p > 0,05$) (Tabela 13).

Tabela 13 - Resumo da análise de variância com os dados dos atributos avaliados na cultura do pepino cultivado em sucessão a espécies fitorremediadoras.

FV	GL	QM	
		MFPAP	MSPAP
Bloco	4	205,4873	1,2311
Dose	3	257,5626 ^{ns}	2,9113 ^{ns}
Fito	2	140,4693 ^{ns}	0,3744 ^{ns}
Dose x Fito	6	563,7541 ^{ns}	4,9301 ^{ns}
Erro	44	364,4003	2,2657
Total	59		
CV (%)		77,69	73,46

ns: não significativo pelo teste F a 5 %; *: significativo a 5 % pelo teste F; MFPAP: Massa fresca parte aérea do pepino; MSPAP: Massa Seca da parte aérea do pepino.

A produção média de massa fresca e seca da parte aérea do pepino, não diferiram em relação as comunidades fitorremediadora. Não ocorreu diferenças significativas em relação a comunidades de adubos verde, comunidade nativa e comunidade capinada para o estabelecimento de plantas de pepino após aplicação do picloram.

Os dados apresentados demonstram um possível potencial da comunidade de adubos verdes na remoção de resíduos de picloram, efeito semelhante na comunidade capinada, que não promoveu mudanças no crescimento do pepino. Esse efeito pode estar relacionado aos atributos da argila do solo: sorção e dessorção do herbicida, uma vez que a molécula pode estar sorvida aos coloides do solo, permitindo o desenvolvimento de culturas sensíveis (PASSOS, 2015).

5. CONCLUSÃO

A *Mucuna pruriens* foi a espécie mais tolerante a molécula herbicida, apresentando menor toxicidade, podendo ser utilizada em processos de fitorremediação de solos contaminados com picloram.

Novos estudos deveram ser desenvolvidos para melhor explicar a interação entre as doses e a influência do tempo no processo de fitorremediação de solos com herbicida picloram.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACCIOLY, A. M. A.; SIQUEIRA, J. O. Contaminação química e biorremediação do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V.; V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R. Tópicos em ciência do solo. Viçosa: **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v. 1. 2000. p. 299 - 352.
- ALAM, A. L. D. M. Recomendaciones sobre unificación de los sistemas de evaluación em ensayos de control de malezas. I. ed. S.I, v. I, 1974. p. 35-38.
- ALBUQUERQUE, M. C. F., RODRIGUES, T. J. D. e MENDONÇA, E. A. F. Absorção de água por sementes de *Crotalaria spectabilis* Roth determinada em diferentes temperaturas e disponibilidade hídrica. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 22. 2000. p. 206 - 215.
- ALMEIDA, D. Manual de Culturas Hortícolas: Cultura do Pepino (*Cucumis sativus*) v. 2, 2006.
- ANDEF. Associação Nacional de Defesa Vegetal. 2012. Disponível em: <
<http://andef.provisorio.ws/noticias/noticia.asp?cod=475>> Acesso em 22 dezembro. 2017
- BARRETO, A.C. Recomendações técnicas para o uso da adubação verde em solos de tabuleiros costeiros. Circular Técnica n.9. EMPRAPA- Tabuleiros Costeiros. Aracaju - SE, Dezembro, 2001.
- BLANCO, F. M. G.; VELINI, E. D. Persistência do herbicida sulfentrazone em solo cultivado com soja e seu efeito em culturas sucedâneas. **Planta Daninha**, v. 23, n. 4. 2005. p. 693 - 700.
- BELO, A. F. et al. Potencial de espécies vegetais na remediação de solo contaminado com sulfentrazone. **Planta Daninha**, v. 29, n. 4. 2011. p. 821 - 828.
- BLANCO, F.F.; FOLEGATTI, M.V. Manejo da água e nutrientes para o pepino em ambiente protegido sob fertirrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.6, n.2. 2002 a. p.251-255
- BLANCO, F.F.; FOLEGATTI, M.V.; NOGUEIRA, M.C.S. Fertirrigação com água salina e seus efeitos na produção do pepino enxertado em ambiente protegido. **Horticultura Brasileira**, v.20, n.3. 2002 b. p. 442 - 446.
- BRANCALIÃO, S.R. Viabilidade do uso de “coquetel” comparado a leguminosas solteiras em sucessão com a cultura da soja no sistema plantio direto em Campinas (SP). 2009.
- CAÑIZARES, K. A. L. A cultura de pepino. In: GOTO, R.; TIVELLI, S. W. Produção de hortaliças em ambiente protegido: condições subtropicais. São Paulo: Fundação Editora UNESP, 1998. p. 195-223.
- CAÑIZARES, K. A. L.; GOTO, R. Crescimento e produção de híbridos de pepino em função da enxertia. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 16, n. 2, 1998. p. 110 - 113,

CARMO, M. L. Influência do período de cultivo de *Panicum maximum* (cultivar Tanzânia) na fitorremediação de solo contaminado com picloram. **Planta Daninha**, v. 26, n. 2. 2008. p. 315-322.

CARVALHO, P.C.F.; OLIVEIRA, J.O.R., PONTES, L.S. Características de carcaça de cordeiros em pastagem de azevém manejada em diferentes alturas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, n.7, 2006. p.1193 - 1198.

CONAB. Levantamento da avaliação da safra de grãos 2016/2017- Disponível em: <http://www.conab.gov.br>. Acesso em 26 de setembro de 2017.

COSTA, B. B. da (Ed). Adubação verde no sul do Brasil. Rio de Janeiro: AS-PTA, 1992. p 346.

CUNNINGHAM, S. D.; ANDERSON, T. A.; SCHWAB, A. P. Phytoremediation of soils contaminated with organic pollutants. **Adv. Agron.**, v. 56. 1996. p. 55 - 114.

DAN, H. A. Resíduos de herbicidas utilizados na cultura da soja sobre o milho cultivado em sucessão. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 25, n. 1. 2012. p. 86 - 91.

Dan, H. A; et al. Controle de plantas daninhas na cultura do milho por meio de herbicidas aplicados em pré-emergência. *Pesquisa. Agropecuária Trop.*, Goiânia, v. 40, n. 4. 2010. p. 388 - 393.

DUARTE T. S.; PEIL R. M. N. Relações fonte: dreno e crescimento vegetativo do meloeiro. *Horticultura Brasileira*. v. 28, 2010. p. 271 - 276.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Adubação Verde. Embrapa agrobiologia, 2011.

FERREIRA, D. F.. Sisvar versão 4.2. Lavras: UFLA, 2003.

FEROLLA, F. S. Avaliação forrageira da Aveia-preta (*Avena strigosa*. Schreb.) e Triticale (*Xtriticosecale* Wittimmack) sob corte e pastejo em diferentes épocas de plantio no Norte do Estado do Rio de Janeiro. Tese Mestrado pela Universidade Estadual do Norte Fluminense; maio de 2005.

FILGUEIRA, F. A. R. Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. 2.ed. Viçosa: UFV, 2003.

HAMMERTON, J. *Mucuna pruriens*: weed, invasive, or multi-use crop for the Bahamas? *College of the Bahamas Research Journal*, v. 12, n. 1. 2003. p. 4 – 1.

LEAL, M. A. A., GUERRA, J. G. M., PEIXOTO, R. T. G. e ALMEIDA, D. L. Desempenho de crotalaria cultivada em diferentes épocas de semeadura e de corte. *Revista Ceres*, 59, 2012. p. 386 - 391.

LOPES, J. F. Palestra de abertura. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE CUCURBITÁCEAS. Belo Horizonte. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 9, n. 2, 1991. p. 98 - 99.

MARTINS S. R.; FERNANDES H. S.; POSTINGHER D.; SCHWENGBER J. E.; QUINTANILLA L. F. Avaliação da cultura do pepino (*Cucumis sativus* L.), cultivado em estufa plástica, sob diferentes tipos de poda e arranjos de plantas. **Revista Brasileira de Agrociência** v.1: 1995. p. 30-33.

MEIRA, A. L.; LEITE, C. D.; MOREIRA, V. R. R. Plantas Companheiras: Programa de Olericultura Orgânica, Módulo I.. Serviço Nacional de Aprendizagem Rural – SENAR- São Paulo, 2012. p. 40.

MELO, R. F. Seção IX - Poluição do solo e qualidade ambiental. Potencial de quatro espécies herbáceas forrageiras para fitorremediação de solo contaminado por arsênio. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 33. 2009. p. 455 - 465,

MILLER, R. R. Phytoremediation. 1996. Disponível em <http://www.gwrtac.org>. Acesso em 18 nov. 2017

MIOTTO, ALCIONE, et al. Cobertura do solo e produção de fitomassa de mucuna cinza (*Mucuna pruriens* (L.) DC.). 2005.

MONQUERO. M. Z; DA SILVA. H. Persistência de imazaquim e diclosulam e m função da umidade do solo. Revista **Agro @mbiente** On -line , v. 7, n. 3, 2013. p. 331 – 337.

NASCIMENTO, E. R. DO; YAMASHITA, O. M. Desenvolvimento inicial de olerícolas cultivadas em solos contaminados com resíduos de 2,4-d + picloram. Semina: **Ciências Agrárias**, Londrina, v. 30, n. 1, 2009. p. 47-54.

PAES, B. V. L. N. Aveia Preta: **Alternativa de cultivo no outono/inverno**. Pesquisa & Tecnologia, vol. 10, n. 2, 2013.

PASSOS, A. B. R. D. J. **Atributos do solo e práticas culturais que influenciam no comportamento do picloram no ambiente: Comportamento do picloram no ambiente**. - Viçosa, MG, 2015.

PEIL R. M. N.; GÁLVEZ J. L. Reparto de materia seca como factor determinante de la producción de las hortalizas de fruto cultivadas em invernadero. **Revista Brasileira Agrociência** v.11. 2005. p. 12-17

PEREIRA F. H. F.; NOGUEIRA I. C. C.; PEDROSA J. F.; NEGREIROS M. Z.; BEZERRA NETO F. Poda da haste principal e densidade de cultivo sobre a produção e qualidade de frutos em híbridos de melão. **Horticultura Brasileira**, v. 21. 2003. p. 191 – 196.

PERKOVICH, B. S. I. Enhanced mineralization of [14C] atrazine in *K. scoparia* rhizosferic soil from a pesticidecontaminated site. **Pestic. Sci.**, v. 46, 1996. p. 391 - 396.

PIRES, F. R.; SOUZA, C. M.; SILVA, A. A.; PROCÓPIO, S. O. & FERREIRA, L. R. Seleção de plantas com potencial para fitorremediação de tebuthiuron. **Planta Daninha**, v. 21. 2003. p. 451 – 458.

PIRES, F. R. I. Fitorremediação de solos contaminados com tebuthiuron utilizando-se espécies cultivadas para adubação verde. **Planta Daninha**, v. 23, n. 4, 2005. p. 711 - 717.

PIRES, F. R. Inferências sobre atividade rizosférica de espécies com potencial para fitorremediação do herbicida tebuthiuron. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 29, n. 4, 2005. p. 627 - 634.

PITELLI, R. A. Competição e Controle das plantas daninhas em áreas agrícolas. UNESP/Campus, Jaboticabal. Série Técnica IPEF, Piracicaba, v.4, n.12, 1987. p.1 - 24.

PROCÓPIO, S. O., SANTOS, J. B., SILVA, A. A., PIRES, F. R., RIBEIRO JÚNIOR, J. I., SANTOS, E. A. Potential of plant species for remediation of trifloxysulfuron-sodium. *Planta daninha*, v. 23, n.1. 2005. p. 9-16.

PROCÓPIO, S. O. Fitorremediação de Solos com Resíduos de Herbicidas. Documento 156. EMBRAPA, Sergipe, SE. 2009.

PROCÓPIO, S. O. et al. Efeito da densidade populacional de *Panicum maximum* (cultivar Tanzânia) na fitorremediação de solo contaminado com o herbicida picloram. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 30, n. 2, 2009. p. 295 - 304.

QUEIROGA, R. C. F.; PUIATTI, M.; FONTES P. C. R.; CECON P. R. Produtividade e qualidade de frutos de meloeiro variando número de frutos e de folhas por planta. *Horticultura Brasileira*. v. 26, 2008. p. 209-215.

RAINA, A. P.; TOMAR, J. B.; DUTTA, M. Variability in *Mucuna pruriens* L. germplasm for L-Dopa, na anti parkinsonian agent. *Genetic Resources and Crop Evolution*, v.59, n.6, 2012. p.1207-1212,

RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G. & ALVAREZ V., V.H. Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação. Viçosa: CFSEMG, 1999.

RODRIGUES, B. N.; ALMEIDA, F. S. Guia de herbicidas. 5. ed. Londrina: Grafmarke, 2005. p.591.

SANTOS, M. V.; FERREIRA, F. A.; FREITAS, F. C. L.; CUSTÓDIO, G. S.; FONSECA, D. M.; FERREIRA, L. R. Ação residual no solo de herbicidas utilizados em pastagens. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 24., 2004, São Pedro. Resumos... São Pedro: SBPCPD, 2004. CDROM.

SANTOS, D. P. et al. Determinação de espécies bioindicadoras de resíduos de herbicidas auxínicos. **Revista Ceres**, v.60, n.3, 2013. p. 354 - 362.

SANTOS, H. P. dos; FONTANELI, R. S.; Baier, A.C.; TOMM, G.O. Cerais de inverno de duplo propósito para integração lavoura pecuária no sul do Brasil. *Passo Fundo: Embrapa Trigo*, 2006. p. 104

SICILIANO, S. D.; GERMIDA, J. J. Enhanced phytoremediation of chlorobenzoates in rhizosphere soil. *Soil Biol. Biochem.*, v. 31, 1999. p. 299 - 305.

SILVA, A. A.; FERREIRA, F. A.; FERREIRA, L. R. Biologia e controle de plantas daninhas. Viçosa: DFT/ UFV, 2002. CDROM.

SILVA, A. A.; WERLANG, R. C.; FERREIRA, L. R. Controle de plantas daninhas em pastagens. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO ESTRATÉGICO DA PASTAGEM, 2002, Viçosa. Simpósio... Viçosa: UFV, 2002. p. 279 - 310.

SINDAG. Mercado de defensivos – Câmara temática de insumos agropecuários. 2016. Disponível em <http://www.sindag.com.br>. Acesso em: 18/11/2017.

SOARES, R., et al. A fitorremediação como instrumento alternativo no saneamento ambiental. July 07 - 10, 2013.

SOUZA, L. S.; VELINI, E. D.; MARTINS, D.; ROSOLEM, C. A. Efeito alelopático de capimbraquiária (*Brachiaria decumbens*) sobre o crescimento inicial de sete espécies de plantas cultivadas. **Planta Daninha**, v.24, n.4, 2006. p. 657 - 668.

TEIXEIRA S. C. G. et al. Degradação do pesticida Padron® por processos fotoquímicos utilizando luz artificial e solar. **Quim. Nova**, v. 30, n. 8, 2007. p.1830 - 1834.

THILL, D. Growth regulator herbicides. In: WELLER, S. C.; THILL, D.; BRIDGES, D. C.; VAN SCOYOC, G. E.; GRAVEEL, J. G.; TURCO JÚNIOR., R. F.; GOLDSBROUGH, P.; RUHL, G. E.; HOLT, H. A.; REICHER, Z. J.; WHITFORD, F. (Eds.). Herbicide action course. West Lafayette: Purdue University, 2003. p. 267-275.

VEGRO CELSO LUÍS RODRIGUES, et al. Defensivos Agrícolas: em 2014, faturamento do segmento foi o destaque. IEA - Instituto de Economia Agrícola. 2015.

VENDRUSCOLO, D. Seleção de plantas para fitorremediação de solos contaminados com cobre. Dissertação de Mestrado Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 27. Fev. 2013.

WILCKEN, S. R. S. Reprodução de *Meloidogyne* spp. em porta-enxertos e híbridos de pepino. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 28, n. 1, 2010. p. 100 - 103.

WUTKE, E. B.; MATEUS, P. G. Espécies de Leguminosas Utilizadas Como Adubos Verdes. **Pesquisa & Tecnologia**, v. 3, n.1. 2006.